

Prédiction de la résistance du fil en fonction de la longueur de la fibre ⁽¹⁾

J. Gutknecht

I.R.C.T.-G.E.R.D.A.T., Boite postale 5035, 34032, Montpellier Cedex.

RÉSUMÉ

Une première étude effectuée avec 34 cotons très divers pour lesquels on avait mesuré à l'aide des fibrogrammes les diverses longueurs d'extension a permis de démontrer l'intérêt de l'utilisation de la longueur 50 % SL plutôt que d'autres longueurs d'extension associées à la ténacité de la fibre mesurée à l'écartement 1/8 de pouce, dans une formule de prédiction de la ténacité du fil.

A partir d'une deuxième étude portant sur l'analyse globale de 1 009 cotons,

représentant une vaste gamme de toutes les caractéristiques technologiques de fibre, et sur l'analyse des 3 groupes de longueurs (Short, Medium, Long) formant cet ensemble on a démontré que les corrélations entre ténacité du fil et caractéristiques de la fibre étaient plus valables si on les analysait à partir de l'ensemble des 1 009 cotons plutôt qu'à partir de chaque groupe de longueur. Les meilleures et plus simples équations obtenues sont présentées et expliquées.

MOTS CLÉS : coton, fibre, longueur, ténacité, prédiction de la résistance du fil.

L'estimation de la charge de rupture d'un fil à partir de la connaissance des caractéristiques de la fibre a une valeur considérable, aussi bien pour le sélectionneur de coton que pour le filateur. Nombreux sont les chercheurs qui ont travaillé sur ce sujet et nombreuses sont les publications issues de ces travaux.

L'Institut de recherches du coton et des textiles (I.R.C.T.) a comme vocation de faire de la recherche agronomique et de l'amélioration variétale dans les pays d'outre-mer et en particulier dans les pays en voie de développement. Le laboratoire de technologie de l'I.R.C.T. à Montpellier (France) reçoit ainsi chaque année plus de 6 000 cotons à analyser et à étudier en provenance de toutes les parties du monde. De plus, il effectue des centaines d'essais de microfilature sur ces cotons. C'est à partir des résultats obtenus au cours des années 1975 et 1979 à 1981 que l'étude présentée ici a été réalisée.

On peut se poser la question : comment utiliser avec profit pour le sélectionneur et pour le filateur les nombreuses données technologiques fournies par les instruments de mesure du laboratoire ? Quelles sont les caractéristiques les plus utiles et indispensables ?

Si le sélectionneur pour opérer des choix de plantes s'intéressera surtout aux paramètres agronomiques de production et aux caractéristiques individuelles concernant la fibre, le filateur, par contre, voudra savoir quelle qualité de fil il pourra produire à partir d'un ensemble de caractéristiques existantes dans le coton brut qu'il achète. Sur quels critères devra se baser son choix ? Une formule assez simple de prédiction de résistance du fil tenant compte de paramètres bien définis pourrait ainsi être un outil précieux pour le filateur. Actuellement, les nouveaux systèmes appelés bancs de contrôle pour essais intensifs et systématiques des fibres (H.V.I.), permettant déjà d'obtenir les caractéristiques essentielles de la fibre en un temps très court et les programmes d'impression des résultats incluent une estimation de la ténacité du fil. Ceci est une évolution importante en technologie cotonnière qui va révolutionner dans les années à venir le marché du coton. J. HEMBREE, au Texas, a démontré l'intérêt pour le filateur d'acheter ses balles en fonction de la résistance estimée du fil, à condition qu'il constitue ses mélanges de manière à conserver une stabilité du micronaire ou de la finesse.

Les caractéristiques de la fibre les plus couramment mesurées sont la longueur et l'uniformité, la résistance soit à pinces jointives, soit à pinces écartées, l'allongement, le micronaire. Elles interviennent toutes et avec d'autres telles que la finesse, la couleur, la charge en matières étrangères, dans les formules permettant de prédire la ténacité du fil.

La caractéristique de fibre qui est la plus corrélée avec la résistance du fil, quel que soit le titre ou le type de filature utilisée (conventionnelle ou « open end »), est la ténacité de la fibre. Les recherches ont démontré depuis des années que c'est la ténacité de la fibre mesurée avec un dynamomètre à pinces écartées à 1/8 de pouce qui présente une corrélation nettement supérieure à la ténacité mesurée à pinces jointives. On se

demande pourquoi cette dernière mesure est encore utilisée par le négoce, alors que la recherche l'abandonne de plus en plus. On peut invoquer le fait qu'il n'existait pas jusqu'à présent de standards universels pour la résistance à pinces écartées. Cette lacune va être comblée très prochainement, car ce type de standards est actuellement en cours de création et sera disponible sous peu.

Après la ténacité, ce sont la longueur de la fibre et une expression du complexe finesse maturité qui jouent un rôle important dans la construction de la résistance du fil. Cette finesse maturité est exprimée généralement par l'indice micronaire, mais depuis quelques années on dispose d'un appareil qui permet d'obtenir des valeurs séparées de finesse et de maturité.

La mesure de la longueur a beaucoup évolué au cours des dernières années grâce à la mise à la disposition des laboratoires d'instruments de plus en plus performants. Parmi les diverses formules de prédiction de la ténacité existantes, on trouve des paramètres de longueur très variés. Autrefois on utilisait, par exemple, la longueur staple du classeur ; ensuite, on a utilisé les valeurs données par les divers fibrographes (UHML - ML - 2,5 % SL - 50 % SL - UR %).

Le laboratoire de l'I.R.C.T. s'est intéressé spécialement aux longueurs déterminées à l'aide du fibrographe Modèle 230 A, qui permet d'obtenir toutes les longueurs d'extension (Span Length) avec lesquelles on peut tracer des fibrogrammes. La figure 1 montre un fibrogramme. La longueur d'extension (Span Length) est une longueur qui est atteinte ou dépassée par un certain nombre de fibres lorsque celles-ci sont prises au hasard de leur longueur. Ce n'est pas une longueur effective ou moyenne. On utilise habituellement deux valeurs remarquables, la 50 % SL et la 2,5 % SL, le rapport de ces deux valeurs donnant l'uniformité du coton. Si l'on trace les tangentes à la courbe aux points 100 % et 50 %, on obtient les valeurs appelées ML (Mean Length) et UHML (Upper Half Mean Length). Observant le graphique, on peut constater que la longueur ML indiquant la valeur moyenne des longueurs correspond à une valeur SL qui se situe entre 20 et 10 % pour la plupart des cotons, mais également deux fois la 50 % SL. Cette longueur moyenne, donc aussi la 50 % SL, apparaît comme une longueur remarquable, car c'est elle qui compte le plus pour la filature et la construction du fil. Elle est influencée beaucoup plus par le taux de fibres courtes que ne l'est la 2,5 % SL.

En 1975, l'I.R.C.T. a fait filer par un laboratoire à Knoxville, Ten. (USA), 34 cotons pour lesquels on avait mesuré toutes les caractéristiques technologiques et établi les fibrogrammes. Toutes les corrélations simples et multiples entre la résistance échevette des fils de 27 tex obtenus et les caractéristiques de la fibre, prises individuellement ou associées, ont été analysées. Les principaux résultats sont récapitulés dans le tableau I.

On observe que la variance de la résistance du fil peut être expliquée à 55,9 % par la ténacité 1/8" de la fibre, à 34 % pour la 50 % SL, à 37,9 % pour la 2,5 % SL, à 34,7 % pour la 2,5 % SL. Si l'on associe la ténacité avec les diverses longueurs SL par multiplication des deux valeurs, on voit que l'explication passe de 67,9 % pour le paramètre (TEN \times 50 % SL) à 73,5 % pour le paramètre (TEN \times 2,5 % SL). En ajoutant l'indice micronaire dans des régressions multiples, on voit que le meilleur coefficient de détermination ($R^2 \times 100$) est obtenu avec les paramètres (TEN \times 50 % SL) + micronaire (explication de la

¹ Ce texte a été présenté par l'auteur en langue allemande avec traduction anglaise lors des Journées internationales du Coton à Brême (IFA). Il sera publié dans la revue « Textil Praxis International ». D'autre part, la traduction espagnole est disponible à l'I.R.C.T./GERDAT.

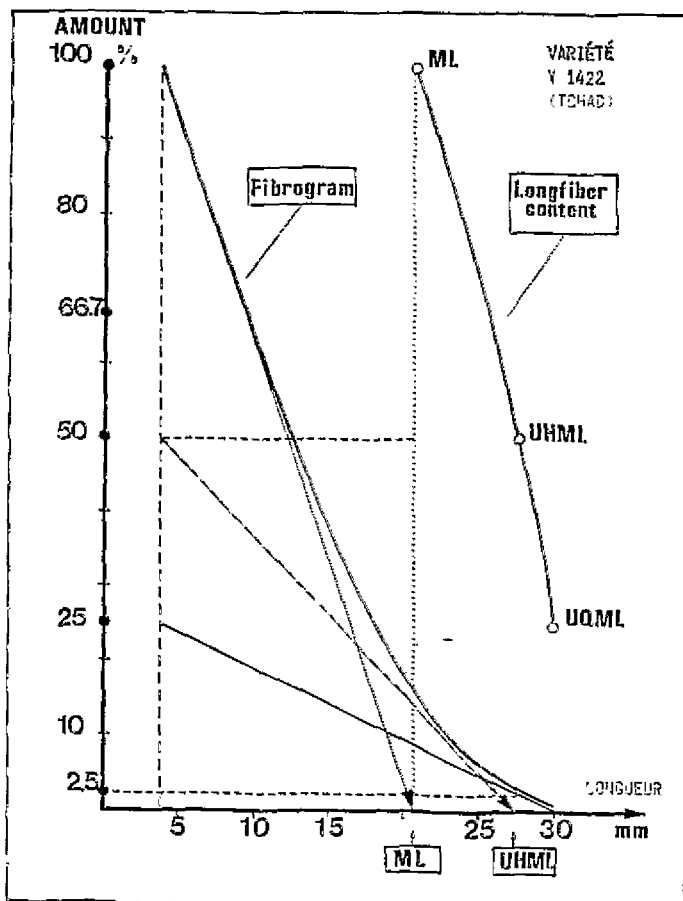


FIG. 1. — Fibrogramme. Fibrographe 230 A.

TABLEAU 1. — Etude de 34 cotons filés à Knoxville (USA) 1975. Explication de la variation de la résistance du fil 27 tex à partir de quelques paramètres.

		(r^2 ou $R^2 \times 100$) Coefficient de détermination
Résistance du fil	— Ténacité stélomètre 1/8" (TEN)	55,9 %
"	— 50 % Span Length	34,0 %
"	— 25 % S.L.	37,9 %
"	— 10 % S.L.	35,5 %
"	— Indice micronaire	41,2 %
"	— 2,5 % S.L.	34,7 %
Résistance du fil	— (TEN \times 50 % SL)	67,9 %
"	— (TEN \times 25 % SL)	70,3 %
"	— (TEN \times 10 % SL)	72,5 %
"	— (TEN \times 2,5 % SL)	73,5 %
Résistance du fil	— (TEN \times 50 % SL) + (Mic)	88,0 %
"	— (TEN \times 25 % SL) + (Mic)	87,3 %
"	— (TEN \times 10 % SL) + (Mic)	85,3 %
"	— (TEN \times 2,5 % SL) + (Mic)	83,8 %
"	— (TEN)	70,0 %
Coefficients de corrélation simple r		
Indice micronaire	— Ténacité stélomètre 1/8"	— 0,251
"	— 50 % SL	— 0,108
"	— 25 % SL	— 0,213
"	— 10 % SL	— 0,303
"	— 2,5 % SL	— 0,422
"	— Rapport d'uniformité	— 0,417

variance 88 %). Ce coefficient tombe à 83,8 % lorsqu'on associe TEN et 2,5 % SL. Cette diminution s'explique par le fait qu'il y a une corrélation négative entre le micronaire et la mesure de la SL qui est d'autant plus élevée qu'on passe de la 50 % SL à la 2,5 % SL.

Cette première étude, effectuée sur un petit nombre de cotons couvrant une gamme de caractéristiques technologiques assez complète, a permis de mettre en évidence l'intérêt d'utiliser la longueur 50 % SL de préférence à d'autres longueurs d'extension.

Une autre étude a porté sur l'analyse de 1 009 cotons qui ont été filés avec la microfiliature Shirley Platt du laboratoire de l'I.R.C.T. après détermination des caractéristiques technologiques : longueur au Fibrographe 430, résistance au Stélomètre et au Pressley tester, finesse et maturité au maturimètre U C/Shirley.

Ces cotons représentaient une très grande diversité d'origines (variétés commerciales, sélections, collections), d'égrenage scie ou rouleau, de pays producteurs. Le but recherché était de disposer d'une gamme très importante de chacune des principales caractéristiques technologiques (tabl. 2). Ainsi, pour la

TABLEAU 2. — Distribution des principales variables pour 1 009 cotons.

Caractéristiques	Valeur Mini Maxi	Ecart Standard	Moyenne
Longueur 2,5 % SL mm	25,4 - 35,5	12,4	28,7
50 % SL mm	17,0 - 18,8	5,8	13,3
Uniformité %	32,2 - 52,7	13,5	46,3
Micronaire indice	2,7 - 5,7	3,0	4,2
Finesse mtex	117,0 - 253,0	142,0	184,9
Finesse standard mtex	143,0 - 326,0	183,5	211,0
Maturity ratio	0,59 - 1,06	0,47	0,88
Ténacité stél. 1/8" g/tex	14,1 - 28,3	12,2	19,3
Allongement %	4,8 - 11,3	6,7	7,1
Pressley 1000 PSI	55,8 - 112,0	55,6	87,0
Réflectance Rd %	67,5 - 83,5	16,0	77,3
Indice jaune + b	8,5 - 11,9	5,4	9,0
Ténacité du fil			
Fil à fil (JUSTER) cN/tex	10,3 - 18,0	7,7	13,6
Echevette cN/tex	7,7 - 13,1	5,4	10,3

longueur de la fibre, on a disposé de cotons allant de 25,4 à 35,5 mm en longueur 2,5 % SL (moyenne 28,7 mm) et de 39 à 52 % en uniformité, de 2,7 à 5,7 d'indice micronaire, de 14,1 à 26,3 g/tex de ténacité stélomètre à 1/8", de 117 à 259 mtex pour la finesse linéique, pour ne citer que les principales caractéristiques. Du point de vue du grade (après cardage) on avait des types allant de Good Middling à Strict Low Middling. Chacune des caractéristiques présentait une bonne distribution.

Tous ces cotons ont été filés pour obtenir un fil de 27 tex, la torsion utilisée étant calculée à partir d'une formule tenant compte de la longueur moyenne du coton et de l'indice micronaire.

La charge de rupture a été mesurée soit en fil à fil (Dynamomètre Usier), soit en échevettes à 22 °C et 62 % d'humidité relative.

Les corrélations simples entre caractéristiques de fibre et de fil et des corrélations multiples faisant intervenir des nombres variables de paramètres ont été calculées non seulement pour les 1 009 cotons, mais également pour 3 groupes de cotons classés suivant leur longueur 2,5 % SL :

- Classe Short : 95 cotons de 25,4 à 26,9 mm (1" - 1 1/32").
- Classe Medium : 769 cotons de 27,0 à 30,1 mm (1 1/16" - 1 5/32").
- Classe Long : 145 cotons de 30,2 à 35,5 mm (1 3/16" et plus).

Les caractéristiques technologiques de ces 3 groupes sont réunies dans le tableau 3.

Il est intéressant d'étudier d'abord les corrélations simples trouvées entre la ténacité du fil et quelques caractéristiques de fibre (tabl. 4, fig. 2) pour chaque groupe analysé. On peut dire au départ que les corrélations obtenues avec la ténacité du fil (fil à fil) sont très voisines de celles obtenues avec la ténacité en échevette.

Si l'on considère les relations existantes avec la ténacité de la fibre mesurée au Stélomètre (1/8"), la corrélation atteint 0,70 pour l'ensemble des 1 009 cotons (50 % de la variance expliquée) ; elle est pratiquement du même ordre de grandeur pour les cotons Medium et Long ; par contre, elle est bien meilleure pour les cotons Short.

On constate que les corrélations entre la résistance du fil et de la fibre mesurées au Pressley écartement « 0 » sont faibles. Le coefficient est inférieur à 0,30 pour les 1 009 cotons (9 % d'explication). Pour les cotons courts, la corrélation est un peu meilleure, 0,62 (36 % d'explication).

TABLEAU 3. — Distribution des principales variables par classe de longueur.

Caractéristiques	95 Short		769 Medium		145 Long	
	mini - maxi	moy.	mini - maxi	moy.	mini - maxi	moy.
Longueur 2,5 % SL	25,4 - 26,6	26,4	27,0 - 30,1	28,6	30,2 - 36,5	31,1
50 % SL	11,1 - 13,8	12,1	11,0 - 15,3	13,2	12,6 - 16,9	14,6
Uniformité	42,2 - 51,9	46,0	39,2 - 52,5	46,1	41,6 - 51,9	47,1
Micronaire	3,1 - 5,7	4,3	2,7 - 5,6	4,2	2,7 - 5,4	4,1
Finesse	143 - 253	194	129 - 240	185	117 - 226	189
Finesse standard	159 - 301	225	161 - 326	211	143 - 292	202
Maturity Ratio						
Ténacité stéto. 1/8" g/tex ..	14,1 - 25,6	19,0	15,1 - 25,9	19,4	15,7 - 26,3	19,4
Allongement	4,6 - 11,0	6,9	4,8 - 11,3	7,1	5,3 - 9,7	7,3
Pressley	61,3 - 105,4	90,1	58,4 - 110	88,1	58,6 - 112	85,1
Reflectance Rd	67,5 - 82,9	75,5	69,5 - 82,2	77,4	71,5 - 83,5	78,3
Indice jaune + b	6,5 - 11,0	9,2	6,6 - 11,9	9,0	7,4 - 10,6	9,1
Ténacité du fil						
Fil à fil (USTER)	10,3 - 14,9	12,7	10,9 - 16,7	13,8	11,7 - 18,0	14,4
Echevette	7,7 - 11,2	9,6	8,2 - 12,8	10,3	9,1 - 13,1	10,9

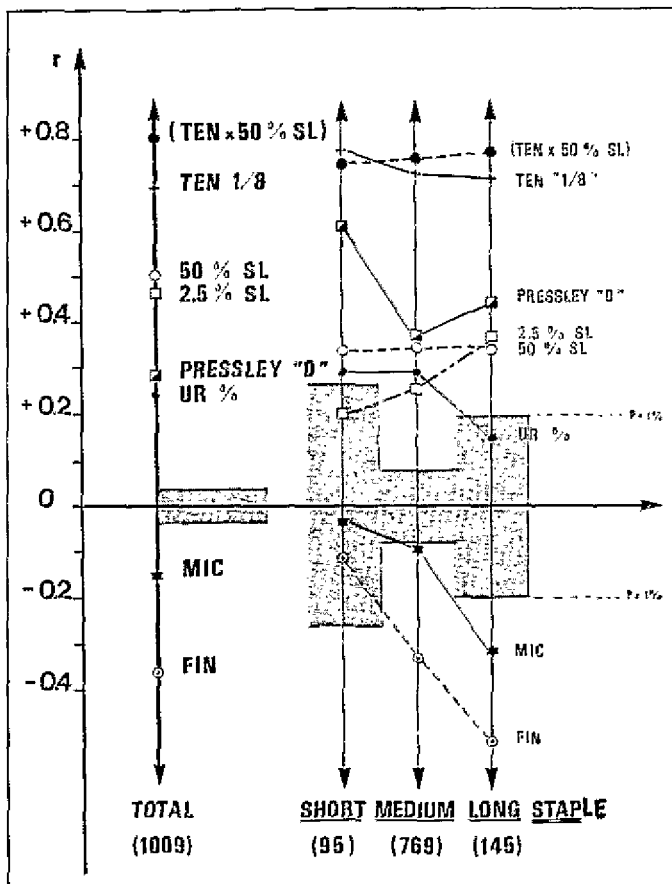


FIG. 2. — Coefficients de corrélation simples r.

Les longueurs 2,5 % et 50 % SL comptent chacune pour 25 % de l'explication, si l'on ne tient compte que de ces variables pour l'ensemble des cotons. Par classe de longueur prise séparément, le coefficient de corrélation n'est plus que de 0,33 pour la 50 % SL et moins pour la 2,5 % SL, sauf pour la classe des cotons longs où il atteint 0,37.

L'uniformité est faiblement corrélée avec la résistance du fil, quel que soit le groupe de cotons.

L'indice micronaire ne présente pas de corrélation élevée; celle-ci est négative et la plus importante pour les cotons longs.

La finesse linéique a une influence identique à celle du micronaire, mais son comportement est très différent suivant les

TABLEAU 4. — Corrélations simples entre la ténacité du fil et quelques variables en fonction de la classe de longueur.

a) Variable dépendante = ténacité du fil (USTER).

Variable indépendante	Total 1009 cottons	Short 95	Medium 769	Long 145
Longueur 2,5 % S.L.	0,484	0,189	0,264	0,373
50 % S.L.	0,502	0,332	0,350	0,327
Uniformité	0,276	0,231	0,279	0,163
Micronaire	-0,139	-0,031	-0,103	-0,323
Finesse	-0,352	-0,107	-0,320	-0,512
Ténacité stéto. 1/8" ..	0,699	0,777	0,721	0,709
Pressley + 0	0,266	0,622	0,365	0,440
Reflectance Rd	0,185	-0,021	0,108	0,180
Indice jaune + b	0,055	0,374	0,084	-0,212
(TEN 1/8 x 50 % S.L.) ..	0,806	0,742	0,765	0,773

b) Variable dépendante = ténacité du fil (échevette).

Longueur 2,5 % S.L.	0,494	0,216	0,280	0,351
50 % S.L.	0,524	0,382	0,369	0,365
Uniformité	0,302	0,323	0,293	0,223
Micronaire	-0,118	0,021	-0,084	-0,325
Finesse	-0,315	-0,056	-0,281	-0,496
Ténacité stéto. 1/8" ..	0,700	0,807	0,722	0,695
Pressley + 0	0,256	0,584	0,338	0,403
Reflectance Rd	0,126	-0,101	0,039	0,113
Indice jaune + b	0,107	0,419	0,143	0,178
(TEN 1/8 x 50 % S.L.) ..	0,818	0,786	0,773	0,779

Seuil de signif. à P=0,01 0,081 0,260 0,100 0,200

classes de longueur; le coefficient de corrélation atteint -0,50 pour les cotons Long.

Si l'on considère le paramètre (TEN 1/8" x 50 % SL), on observe que pour l'ensemble des 1009 cotons la corrélation est très bonne, 0,81 (65 % de la variation expliquée) et qu'elle atteint pour les différents groupes de longueur des valeurs de 0,74 à 0,79.

A partir de cette analyse, on peut se rendre compte que les corrélations simples peuvent être très différentes si l'on considère les groupes séparés de longueur par rapport à l'en-

semble des cotons. Travailler à partir de lots ne couvrant pas une gamme suffisante de valeurs de longueur peut amener à des conclusions erronées. Néanmoins, il ne peut pas être fait de prédiction de ténacité à partir d'une seule caractéristique ou association de caractéristiques. C'est pourquoi de nombreuses équations de régressions multiples ont été calculées. Ici, on ne retiendra que les formules obtenues les plus simples et celles utilisables par le sélectionneur et même le filateur. Les équations retenues sont celles qui sont calculées à partir de l'analyse de tous les cotons, celles qui sont calculées par groupes de longueurs ne permettant pas une meilleure exploitation de la résistance du fil.

Les meilleures formules ont été regroupées dans le tableau 5.

TABLEAU 5. — Principales équations de régression trouvées pour prédire la ténacité d'un fil de 27 tex. (Etude de 1 009 cotons).

a) Résistance du fil (fil à fil - USTER), en cN/tex.

Constante	(TEN x 50 % SL)	Mic.	Finesse	UR %	Explication variable (%)	Erreur estimée
6,45	+ 0,029				64,9	0,62
8,28	+ 0,029	-0,49			70,2	0,52
10,25	+ 0,032	-0,42		-3,06	71,1	0,56
9,38	+ 0,027		-0,015		72,5	0,55
10,35	+ 0,028		-0,013	-0,03	72,7	0,53

b) Résistance du fil (échevette), en cN/tex.

4,76	+ 0,022				66,9	0,46
6,03	+ 0,022	-0,34			71,3	0,43
7,28	+ 0,023	-0,30		-0,04	71,9	0,42
6,68	+ 0,021		-0,01		72,5	0,42
7,32	+ 0,022		-0,01	-0,02	72,7	0,42

avec TEN = Ténacité stélomètre (1/8") en g/tex
 50 % SL = 50 % Span Length en mm
 Mic = Indice micronaire
 Finesse = Finesse linéique en m tex.

Deux de ces formules sont représentées graphiquement.

La figure 3 représente les ténacités d'un fil prédites à partir de la formule :

$$8,28 + 0,029 (\text{TEN} \times 50 \% \text{ SL}) - 0,49 \text{ Mic.}$$

en fixant la valeur du paramètre micronaire à 4. On peut ainsi voir quelles seraient les différentes résistances (fil à fil) qui seraient obtenues à partir de toutes les combinaisons de longueur 50 % SL et de ténacité de la fibre mesurée au Stélomètre.

Avec un coton de 19 g/tex de résistance stélométrique ayant un indice micronaire 4, on obtiendra un fil de 13 cN/tex avec une longueur 50 % SL de 12 mm, de 14 cN/tex avec une longueur 50 % SL de 14 mm, de 15 cN/tex avec une longueur 50 % SL de 16 mm. Avec un coton de micronaire 3,5, pour obtenir 14 cN/tex la longueur 50 % SL ne devra être que de 13,5 mm.

Cet ensemble met bien en évidence l'influence de la longueur 50 % SL comme facteur de résistance du fil.

Avec la formule incluant la finesse :

$$9,38 + 0,027 (\text{TEN} \times 50 \% \text{ SL}) - 0,015 (\text{finesse})$$

on peut montrer à l'aide du graphique de la figure 4 la répercussion de cette caractéristique sur la combinaison 50 % SL et ténacité stélomètre 1/8.

Si l'on dispose d'un coton de 28 mm (1 3/32") de longueur 2,5 % SL et de 47,5 % d'uniformité, il aura une 50 % SL de 13,3 mm. Suivant sa finesse, on peut voir quelle résistance de la fibre sera nécessaire pour obtenir un fil de 14 cN/tex de résistance :

avec H = 155 mtex, il faut 19,2 g/tex ;
 185 mtex, il faut 20,5 g/tex ;
 215 mtex, il faut 21,7 g/tex.

On voit également sur ce graphique qu'avec une fibre de 155 mtex, pour obtenir une résistance de fil de 14 cN/tex, il faut allier par exemple :

21 g/tex de valeur stélomètre avec 12,1 mm de 50 % SL
 ou 17 g/tex de valeur stélomètre et 15 mm de 50 % SL.

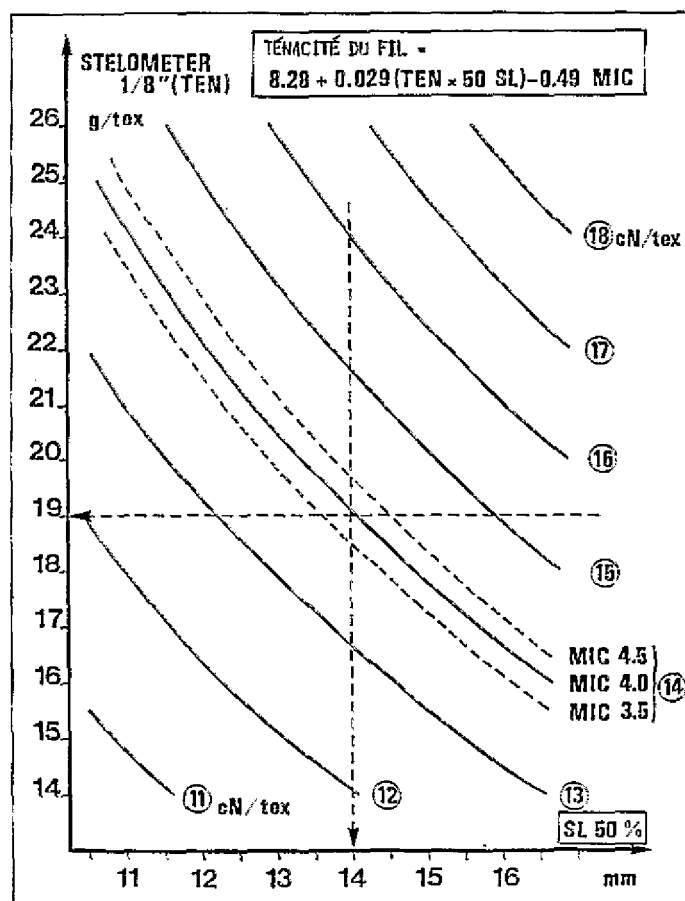


FIG. 3. — Prédiction de la ténacité du fil pour un coton de micronaire = 4.

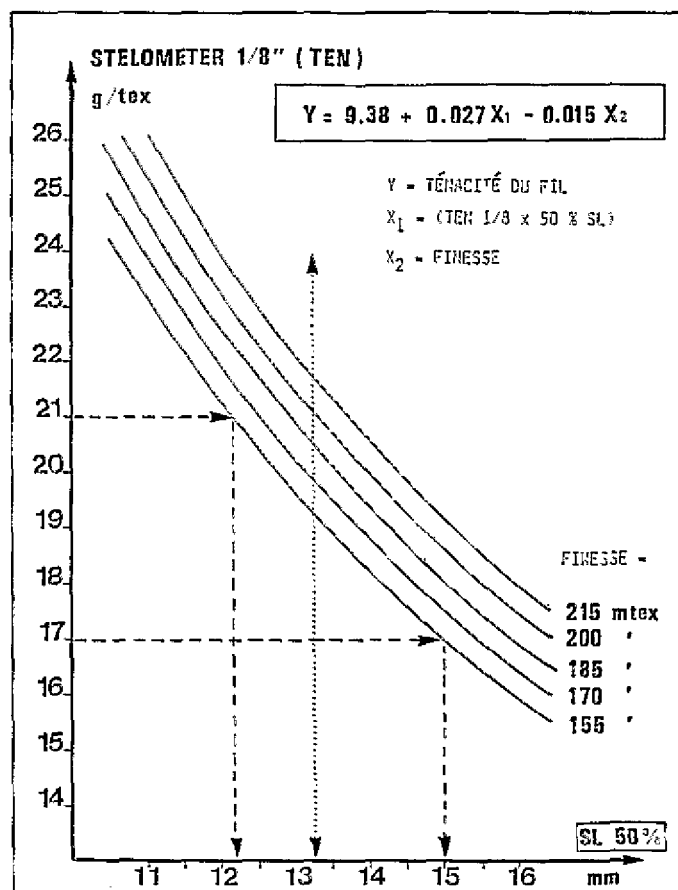


FIG. 4. — Propriétés des fibres pour obtenir une ténacité de 14 cN/tex.

En conclusion, la prédiction de la ténacité d'un fil de 27 tex peut être calculée avec une bonne estimation à partir de 3 paramètres :

- la résistance de la fibre mesurée avec un dynamomètre à pinces écartées à 1/8" en g/tex ;
- la longueur 50 % SL en mm ;
- la finesse exprimée par l'indice micronaire ou de préférence par la finesse linéique en mtex avec laquelle on gagne encore en précision.

Ces formules simples, établies par le laboratoire de l'I.R.C.T., peuvent certainement être adaptées en en modifiant les

constantes pour tenir compte du niveau des mesures, par d'autres laboratoires.

Elles permettent d'obtenir une très bonne explication de la variation de la ténacité du fil.

A l'heure actuelle, les instruments des bancs de contrôle pour essais intensifs et systématiques (H.V.I.) des fibres donnent les valeurs de ces paramètres simples ainsi qu'une estimation de la ténacité du fil utilisant des formules diverses de prédiction. A la vue de cet exposé, on peut dire qu'il est parfaitement valable d'utiliser des formules simples d'estimation de la ténacité à condition, toutefois, de tenir compte des paramètres qui expliquent bien la résistance du fil.

BIBLIOGRAPHIE

1. LOUIS G.L. and L.A. FIORI, 1954. — Statistical relationships of fiber properties to yarn properties and to spinning efficiency of Medium staple cottons. *USDA ARS-S-45*.
2. EL SOURADY A.S., S. WORLEY J. and L.S. STITH, 1974. — The relative contribution of fiber properties to variations in yarn strength in Upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. *Textil Res. J.*, 301-306.
3. TARIN J.C. et J. GUTKNECHT, 1972. — Relations technologiques entre la fibre de coton et le fil en résultant. *Rev. Ind. Text.*, 1016.
4. SUBRAMANIAN T.A., K. GAMESH and S. BANDYOPADHYAY, 1974. — A general equation for predicting thelea strength of ring spun cotton. *J. Text. Inst.*, 65, 6.
5. RAMEY H.H., Jr, R. LAWSON and S. WORLEY, Jr, 1977. — Relationship of cotton fiber properties to yarn tenacity. *Text. Res. J.*, 47.
6. HAFEZ Osman M.A., 1978. — Yarn strength prediction of american cottons. *Text. Res. J.*, 48, 701-705.
7. USDA AMS Cotton Division. — Summary of cotton fiber and processing test results crop of 1980-81-82.
8. ETHRIDGE M.D., J.P. TOWERY and J.H. HEMBREE, 1982. — Estimating functional relationships between fiber properties and the strength of open end spun yarns. *Text. Res. J.*
9. BACKE E.E., 1982. — Paper presented at the International Cotton Test Conference.
10. Dr HUNTER L. and E. GEE, 1982. — Correlation between cotton fibre properties and ring and rotter-yarn properties. *Melliand Textilberichte* (Eng. Ed.).
11. HEMBREE J.F., 1982. — Fiber properties and their use. *Cott. Gin Oil Mill Press*.
12. PRICE John B., 1983. — Research on fiber/yarn relationship. *Textile Topics*, 11, 10.

Yarn strength prediction in relation to fibre length

J. Gutknecht

I.R.C.T.-G.E.R.D.A.T., Boite postale 5035, 34032, Montpellier Cedex.

SUMMARY

A first study carried out with 34 very different cottons the various span lengths of which had been measured with a Fibrograph 230 A, has clearly shown that after the 1/8" gauge tenacity the 50% span length had the most significant effect on single and yarn strength.

A second investigation was performed on 1009 cottons which presented a wide spread of all fibre properties. Multiple regression analysis was performed on the whole set and also on three sub-sets comprising the individual

length groups (short, medium, long). The results indicated that the most significant regression equations derived were those obtained with the 1009 samples. They yielded also a better explanation of the yarn strength than the equations obtained with the different length groups.

The simplest and best regression equations found in the course of these investigations are shown and explained.

Estimation of yarn breaking strength through a knowledge of fibre properties is of considerable value to both the cotton breeder or geneticist and the cotton spinner. Many scientists have worked on this subject and there are numerous publications dealing with yarn strength prediction.

The "Institut de Recherches du Coton et des Textiles" (I.R.C.T.) carries out research programs in the field of tropical agriculture and plant breeding overseas and in particular in the developing countries.

The fibre testing laboratory of the Institute, located in Montpellier (France) receives over 6.000 samples of cotton coming from all over the world for evaluation of fibre properties each year. With these samples the laboratory performs several hundreds of spinning tests on a miniature Shirley (Plant) spinning plant. The study presented in this paper was based on the results obtained in 1975 and from 1979 to 1981.

The question may arise : how can the numerous measurements produced with the laboratory instruments be made available and be profitable to the breeder and to the spinner ? Which are the most useful and essential fibre properties ?

The breeder deals mainly with agronomic and production

parameters and with individual fibre characteristics to select better plants, whereas the spinner will want to know what yarn strength he will obtain from the raw cottons which he has bought.

A single yarn strength prediction formula using well defined fibre properties could be very valuable for the spinner. Today the new high volume instruments (H.V.I.) already give the most important fibre measurements in a very short time. The print-out of the recorded data also displays an estimate of the yarn strength. This is a very important evolution in cotton technology and may change completely the nature of cotton marketing in the near future.

Joe HEMBREE in Texas, has already shown the benefits that spinners could get from buying their bales whilst considering the estimate of the yarn strength and ensuring that the mixes will preserve the same average fibre properties, especially of the micronaire, from blend to blend.

The most usual fibre property measurements are length and uniformity, bundle strength at the "0" gauge or the 1/8" gauge, elongation, and micronaire. They all contribute with some others such as fineness, colour, foreign matter content, to the estimation of yarn strength through a prediction formula.

The fibre property which is most associated with yarn strength whatever the yarn count or the type of spinning (conventional or open end) is fibre strength. For years investigations have shown that the fibre strength measured with a 1/8" gauge strength tester correlates much better with yarn strength than the fibre strength measured with a "0" gauge strength tester. One may wonder why the latter procedure is still favoured by the cotton marketing trade when the research community has abandoned it. To date no international calibration standard cotton for 1/8" gauge strength testing has been available. This situation is coming to an end and new standards including 1/8" Pressley and Stelometer Tenacity are being prepared and will be realised very soon.

Next to fibre strength, length and micronaire reading (which is a measurement combining fineness and maturity) also contribute to some extent to yarn strength. Fineness and maturity may now be measured with the IIC-Shirley fineness/maturity tester.

In the last ten years the measurement of fibre length has undergone an important change due to new available equipment, especially the high volume fibre testing instruments (H.V.I.). In the first prediction formulas, the classer's staple length was used. Later the different Fibrograph measurement values such as the upper half mean length (UH.M.L.), the mean length (M.L.), then the 2.5% and 50% span lengths were used.

The I.R.C.T. laboratory was especially interested in the span lengths obtained with the Model 230 A Digital Fibrograph. This instrument enables us to obtain the various span lengths that are necessary to draw fibrograms. Figure 1 shows such a fibrogram. The span length is not an end-to-end fibre measurement nor an actual length but is an estimate of that fibre length which is equalled or exceeded by the given percentage number of fibres in a randomly selected bundle.

Generally two particular span lengths are measured, the 50% SL and the 2.5% SL, which give in turn the uniformity ratio of the two lengths. Constructing the tangents at the point 100% and 50% of the amount, two new values, the mean length (M.L.) and the upper half mean length can be obtained.

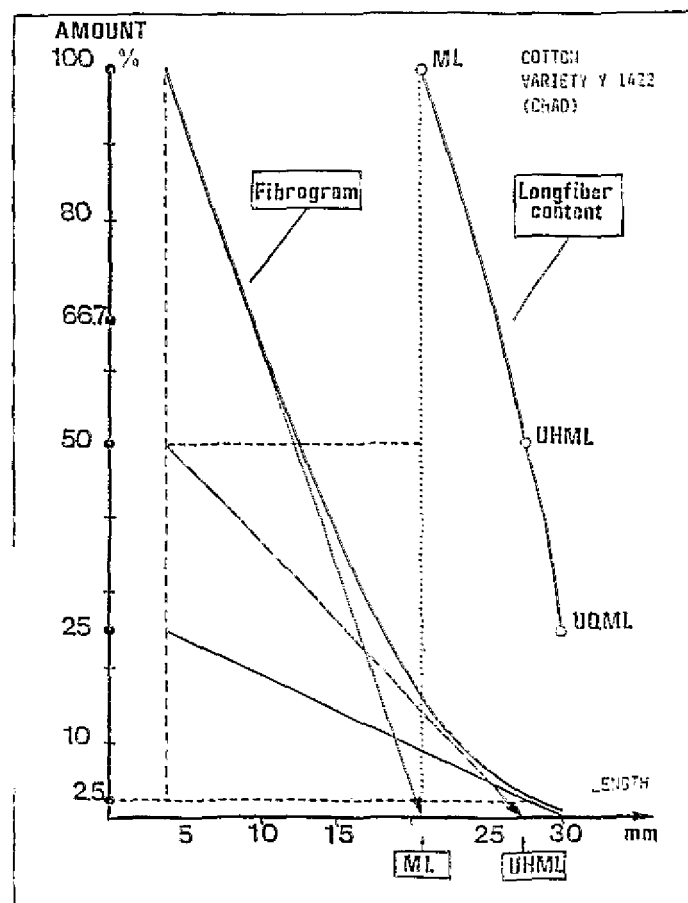


FIG. 1. — Fibrogram, Fibrograph 230 A.

values given by the older Fibrograph (Model 183 Servo Fibrograph). On the drawing it can be observed that the mean length (M.L.) is a measurement corresponding to a span length value situated between the 20 and 10% SL (for most raw cottons). Furthermore the mean length (M.L.) is almost equal to twice the 50% SL.

The mean length (M.L.), as well as the 50% SL, is an important length because it is the length that most influences the spinning process and the yarn properties. The 50% SL is influenced more by the short fibre content than is the 2.5% SL.

In 1975, the I.R.C.T. laboratory determined the fibrograms and the fibre properties of 34 very different cottons which were later sent to a spinning laboratory in Knoxville, Ten. (USA) to be spun into 27 tex yarn. All the simple and multiple regressions between the individual or associated fibre characteristics and the yarn skein strength were analysed. The main results are shown in table 1. These results indicate that 55% of the variation in yarn strength may be explained by the 1/8" gauge fibre strength alone. The 50% span length alone explained 34%, the 25% span length 37.9%, the 2.5% span length 34.7% of the variation. Combining the 1/8" gauge fibre strength with the different span lengths by multiplication of the two properties provided evidence that the new parameter explained the yarn strength variation at a higher level: (TEN 1/8" \times 50% SL) accounted for 67.9% and (TEN 1/8" \times 2.5% SL) for 73.5%. Adding the micronaire value into the multiple regressions resulted in a still better explanation of the yarn strength variation: the coefficient of determination (square of the multiple correlation coefficient R) reached 88.0% for the association (TEN 1/8" \times 50% SL) + MIC whereas this coefficient dropped to 83.5% with the association (TEN 1/8" \times 2.5% SL) + MIC. This may be explained by the fact that the negative correlation existing between the micronaire value and the measurement of the different span lengths increases from the 50% span length to the 2.5% span length.

On the basis of the results of this first study, performed with a small number of samples presenting a wide range of fibre properties, it could be concluded that it was desirable to include the 50% span length rather than the other span lengths in the prediction formula.

During the 1979, 1980 and 1981 seasons, 1,009 samples were processed on a Shirley (Platt) miniature plant at the laboratory in Montpellier. All the fibre properties of the raw cotton were determined (50 and 2.5% span lengths) on a Fibrograph 430, Pressley "0" gauge strength, Stelometer 1/8" gauge tenacity and elongation, the three airflow parameters, micronaire, fineness and maturity ratio on the IIC-Shirley fineness/maturity tester. The samples came from different crops in a great number of cotton producing countries (commercially grown

TABLE 1. — Study of 34 cottons spun in Knoxville (USA) 1975. Explanation of the yarn skein strength (27 tex yarn) by some fiber properties.

	(r ² ou R ² \times 100)
	Determination Coefficient
Yarn Skein Strength - 1/8" - gauge Tenacity (TEN)	55.9%
" 50% Span Length	34.0%
" 25% S.L.	37.9%
" 10% S.L.	33.5%
" 2.5% S.L.	34.7%
" Micronaire	41.3%
Yarn Skein Strength - (TEN \times 50% SL)	67.9%
" (TEN \times 25% SL)	70.3%
" (TEN \times 10% SL)	72.6%
" (TEN \times 2.5% SL)	73.5%
Yarn Skein Strength - (TEN \times 50% SL) + (Mic)	88.0%
" (TEN \times 25% SL) + (Mic)	87.2%
" (TEN \times 10% SL) + (Mic)	85.3%
" (TEN \times 2.5% SL) + (Mic)	83.8%
" (TEN) + (Mic)	79.0%
Simple correlation coefficients r	
Micronaire - 1/8" - gauge Tenacity	-0.251
" 50% S.L.	-0.108
" 25% S.L.	-0.213
" 10% S.L.	-0.305
" 2.5% S.L.	-0.422
" Uniformity Ratio	-0.417

TABLE 2. — Distribution of the main fiber properties (1,009 cottons).

Fiber properties		Value		Range	Average
		Mini	Maxi		
Length	2.5 % SL mm	25.4	35.5	12.4	29.7
"	50 % SL mm	11.0	16.8	5.8	13.3
"	Uniformity %	39.2	52.7	13.5	46.3
Micronaire Index		2.7	5.7	3.0	4.2
Fineness mtex		117.0	259.0	142.0	184.6
Standard Fineness mtex ..		143.0	326.0	183.0	211.0
Maturity Ratio		0.59	1.06	0.47	0.88
1/8" Fiber Strength g/tex		14.1	26.3	12.2	19.3
Elongation %		4.6	11.3	6.7	7.1
Pressley "0" 1000 PSI		55.6	112.0	55.4	87.8
Reflectance Rd %		67.5	82.5	16.0	77.3
Yellowness + b		8.5	11.9	5.4	9.0
Yarn Strength					
Single End (USTER) cN/tex ..		10.3	18.0	7.7	13.6
Skein cN/tex		7.7	13.1	5.4	10.3

varieties, or varieties from experimental fields of the Institute, saw-ginned or roller-ginned). The purpose was to obtain the largest range possible for each fibre characteristic (table 2). Thus the range covered by the 2.5 % span length was 25.4 to 35.5 mm, by the uniformity 39 to 52 %, by the micronaire reading 2.7 to 5.7, by the 1/8 gauge Stelometer tenacity 14.1 to 26.3 g/tex, by the fineness 117 to 259 m/tex, and so on. The colour grades of these fibres ranged from Good Middling to Strict Low Middling. Each fibre property presented a fairly good distribution.

All the samples were spun in 27 tex yarn with a twist factor calculated in function of the 50 % span length and the micronaire readings to obtain optimum strength. The single end yarn strength (on an Uster automatic tester) and the skein strength were measured in cN/tex.

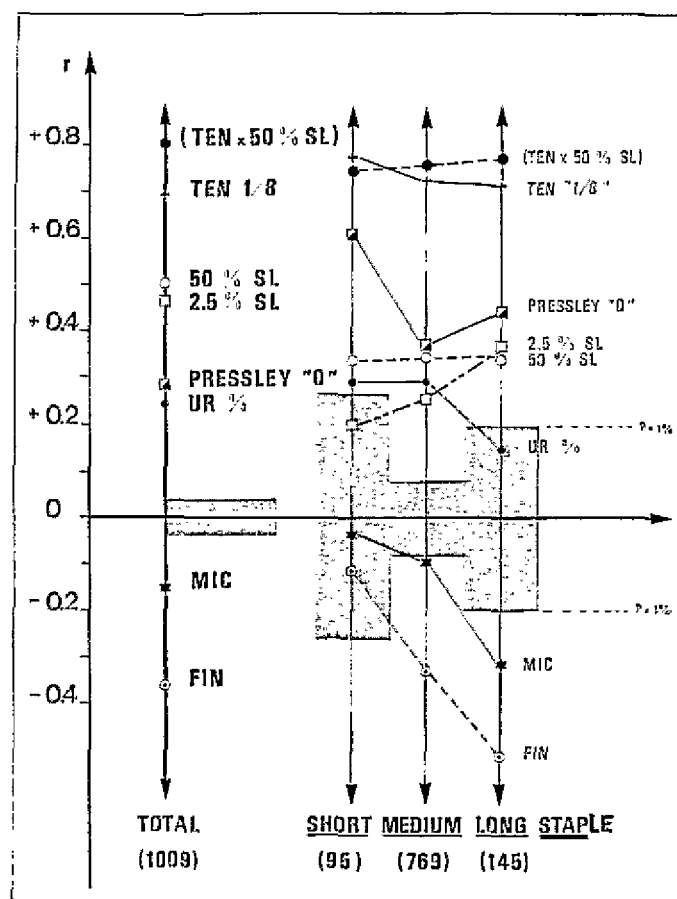
The simple correlations between fibre strength and fibre properties as well as multiple stepwise regressions were calculated for the whole set of 1,009 samples but also for 3 groups of data representing a classification by the 2.5 % span length:

- Group Short: 95 cottons measuring 25.4-26.9 mm (1"-1 1/32").
- Group Medium: 769 cottons measuring 27.0-30.1 mm (1 1/16"-1 5/32").
- Group Long: 145 cottons measuring 30.2-35.5 mm (1 3/16" and more).

The fibre property values and their range for each group are shown in table 3.

TABLE 3. — Fiber characteristics by length group.

	95 SHORT		769 MEDIUM		145 LONG	
	mini - maxi	average	mini - maxi	average	mini - maxi	average
Length 2.5 % SL mm	25.4 - 26.9	26.4	27.0 - 30.1	28.6	30.2 - 35.5	31.1
50 % SL mm	11.1 - 13.8	12.1	11.0 - 15.5	13.2	12.6 - 16.8	14.6
Uniformity %	42.2 - 51.9	46.0	39.2 - 52.5	46.1	41.6 - 51.9	47.1
Micronaire Index	3.1 - 5.7	4.3	2.7 - 5.6	4.2	2.7 - 5.4	4.1
Fineness mtex	143 - 253	194	129 - 240	195	117 - 226	190
Standard Fineness mtex	159 - 301	225	161 - 326	211	143 - 292	202
Maturity Ratio						
1/8" Fiber Strength g/tex	14.1 - 25.6	19.0	15.1 - 25.9	19.4	15.7 - 26.3	19.4
Elongation %	4.6 - 11.0	6.9	4.8 - 11.3	7.1	5.3 - 9.7	7.3
Pressley "0" 1000 PSI	61.3 - 105.4	80.1	56.4 - 110	88.1	68.6 - 112	83.1
Reflectance Rd %	67.5 - 82.9	75.5	69.5 - 82.2	77.4	71.5 - 83.5	78.3
Yellowness + b	8.5 - 11.0	9.2	8.6 - 11.9	9.0	7.4 - 10.6	9.1
Yarn Strength						
Single End (USTER) cN/tex	10.3 - 14.9	12.7	10.9 - 16.7	13.6	11.7 - 18.0	14.4
Skein cN/tex	7.7 - 11.2	9.6	8.2 - 12.8	10.3	9.1 - 13.1	10.9

FIG. 2. — Simple correlation coefficients r .

Considering first the simple correlations between yarn strength and some fibre properties for each group of samples it may be seen from table 4 and figure 2 that the correlation coefficients calculated with the single end yarn strengths are almost identical with those calculated with the skein strength.

Taking into account the 1,009 samples, there was a good correlation ($r = 0.70$) between the 1/8" gauge fibre tenacity and the yarn strength (50 % of the variation explained).

The correlation reached the same level for the Medium and the Long length groups but was higher ($r = 0.78$) for the Short cottons. Analysing the relationship between yarn strength and "0" gauge fibre strength, one can see that the correlation was very poor ($r = 0.30$) explaining only 9 % of the yarn

TABLE 4. — Simple correlations coefficients between yarn strength and some fiber properties in relation with the length group.
a) *Dependant variable: single end yarn strength.*

Independant variable	Total 1009 Cottons	SHORT 95	MEDIUM 769	LONG 145
Length 2.5 % SL	0.464	0.189	0.264	0.373
• 50 % SL	0.552	0.332	0.350	0.327
• Uniformity	0.276	0.281	0.279	0.163
Micronaire	-0.139	-0.031	-0.103	-0.323
Fineness	-0.352	-0.107	-0.320	-0.512
Fiber Strength 1/8"	0.699	0.777	0.721	0.709
Pressley "0"	0.286	0.322	0.365	0.440
Reflectance Rd	0.185	-0.021	0.103	0.180
Yellowness + b	0.035	0.374	0.034	-0.212
(TEN 1/8 x 50 % SL)	0.806	0.742	0.783	0.773

b) *Dependant variable: yarn skein strength.*

Length 2.5 % SL	0.494	0.215	0.280	0.351
• 50 % SL	0.524	0.362	0.359	0.365
• Uniformity	0.302	0.323	0.293	0.223
Micronaire	-0.118	0.021	-0.034	-0.325
Fineness	-0.315	-0.036	-0.291	-0.496
Fiber Strength 1/8"	0.700	0.807	0.722	0.695
Pressley "0"	0.256	0.584	0.338	0.403
Reflectance Rd	0.125	-0.101	0.039	0.113
Yellowness + b	0.107	0.413	0.143	0.178
(TEN 1/8 x 50 % SL)	0.813	0.766	0.773	0.779
Significant at P=0.01	0.031	0.260	0.100	0.200

strength variation in 1,009 cottons. It was slightly better ($r = 0.40$) for the Medium and Long groups and reached 0.60 for the Short groups.

Both the 50 % and 2.5 % span lengths accounted only for 25 % in the explanation of the variation for the whole set of cottons but their influence dropped when each length group was separately considered (13 % in the best case).

The uniformity ratio presented only low correlations. The same was observed with the micronaire value, but its negative correlation was slightly higher in the Long cotton group. On the other hand the fineness (linear density) had a stronger influence on the yarn strength than the micronaire and its correlation was highest with $r = 0.51$ in the Long length group.

The parameter (1/8" gauge fibre tenacity \times 50 % span length) showed the highest correlation with a coefficient of $r = 0.81$, explaining alone 65 % of the variation when taking into account the 1,009 cottons. Its correlation coefficient was only 0.74 to 0.79 for the separate length groups.

The results show that the relationships may differ according to the length groups considered. Wrong conclusions might be drawn from these relationships if a wide range of fibre properties do not exist in the cottons, especially a wide range of lengths.

For the prediction of yarn strength, one fibre property or one parameter combining different characteristics will anyway be insufficient. This is the reason why 3 or more fibre properties are generally included in the prediction formulae and is why they are not simple to use.

Furthermore it may be emphasized that no one formula can be universal.

Nevertheless, in order to give the broader and possibly the spinner a useful tool, some of the simplest multiple regression equations obtained in the present study and having a reasonable precision (7-8 %) have been listed in table 5. The only equations reported are those calculated with the 1,009 cottons because none of the regressions found with the 3 length groups gave a better explanation of the yarn strength variation.

TABLE 5. — Main regression equations to predict the yarn strength (27 tex yarn) (1,009 cottons).

a) *Single end yarn strength (USTER), cN/tex.*

Constant	(TEN \times 50 % SL)	Mic.	Fineness	UR %	Variance Explained %	Error Estimate
8.45	+ 0.028				64.9	0.62
8.28	+ 0.029	-0.49			70.2	0.52
10.25	+ 0.032	-0.42		-0.06	71.1	0.57
9.38	+ 0.027		-0.015		72.5	0.55
10.35	+ 0.028		-0.013	-0.03	72.7	0.55

b) *Yarn skein strength, cN/tex.*

4.76	+ 0.022				66.9	0.46
6.03	+ 0.022	-0.34			71.3	0.43
7.26	+ 0.023	-0.30		-0.04	71.9	0.42
6.68	+ 0.021		-0.01		72.5	0.42
7.32	+ 0.022		-0.01	-0.02	72.7	0.42

with TEN = Stelometer 1/8" Fiber Strength
50 % SL = 50 % Span Length mm
Mic = Micronaire index
Fineness = Average Fineness mtex.

Two of those regression equations are presented graphically. Figure 3 shows the prediction of the yarn strength with the formula:

$$\text{cN/tex} = 8.28 + 0.029 (1/8 \text{ Tenacity} \times 50 \% \text{ SL}) - 0.49 \text{ micronaire}$$

(error of estimate = 0.57 cN/tex)

when the micronaire reading is equal to 4. One can see the contribution of the 50 % SL and the 1/8" gauge fibre tenacity to the single-end yarn strength. Thus, for a cotton having a 1/8" fibre strength of 19 g/tex and a micronaire reading of 4 in order to get a yarn of 13 cN/tex, the 50 % SL must be 12 mm, of 14 cN/tex, the 50 % SL must be 14 mm, of 15 cN/tex, the 50 % SL must be 16 mm.

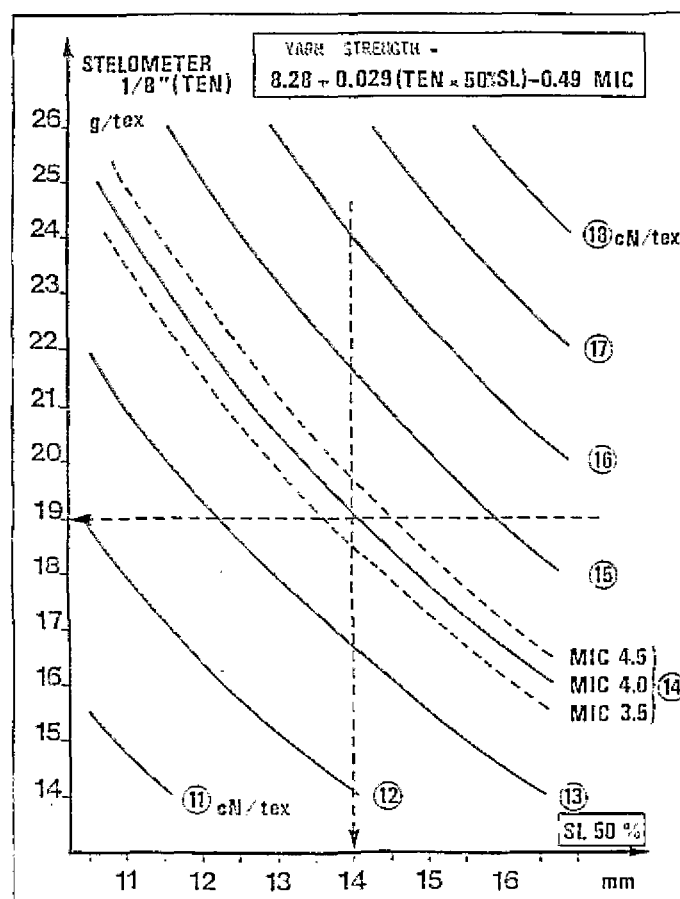


FIG 3. — Yarn strength prediction for a 4.0 micronaire cotton.

Two millimeters in 50% SL contribute to 1 cN/tex in yarn strength.

With a 3.5 micronaire cotton, having the same fibre strength (19 g/tex) a 50% span length of 13.5 mm is required in order to obtain a 14 cN/tex yarn strength.

This example has clearly emphasized the importance of the 50% SL as an independent variable.

Another regression equation in which the fineness (linear density) takes the place of the micronaire reading is illustrated by figure 4.

$\text{cN/tex} = 9.38 + 0.027 (\text{TEN } 1/8 \times 50\% \text{ SL}) - 0.015 \text{ fineness}$
(error of estimate 0.55 cN/tex)

This equation gives a better explanation of the variation of the yarn strength than the former one (72.5% against 71.1%).

Having a cotton of 28 mm (1 3/32") in 2.5% span length, with a uniformity ratio of 47.5%, the 50% span length will be 13.3 mm. According to its fineness, it may be seen from the graph, which fibre tenacity is necessary to spin a yarn of 14 cN/tex in strength.

With a 155 mtex fineness, the 1/8" fibre tenacity must be 19.2 g/tex.

With a 185 mtex fineness, the 1/8" fibre tenacity must be 20.5 g/tex.

With a 215 mtex fineness, the 1/8" fibre tenacity must be 21.7 g/tex.

Also it appears that in the case of a 155 mtex fineness the fibre must present a combination of a 12.1 mm 50% SL and 21 g/tex tenacity or of a 15 mm 50% SL and a 17 g/tex tenacity in order to obtain an estimated yarn strength of 14 cN/tex.

In conclusion a prediction formula giving satisfaction for a 27 tex yarn strength will depend on 3 parameters:

- The fibre strength measured with a Stelometer 1/8" gauge strength tester.
- The 50% span length.
- The fineness expressed as micronaire reading or as fineness (in which case the explanation will be improved).

These simple regression equations used in the laboratory of the I.R.C.T. might certainly be adapted by other laboratories by only changing the constants or certain regression coefficients.

Today the evaluation of cottons (length, strength, micronaire) can be done by high volume fibre testing instruments (H.V.I.) which also calculate with the tested fibre properties an estimate

of the yarn strength. The research work presented in this paper has shown that it is possible to reasonably predict the yarn strength with well chosen fibre variables, especially the one concerning the length. Equations are already useful and will certainly be more and more so in the future to both breeders and spinners.

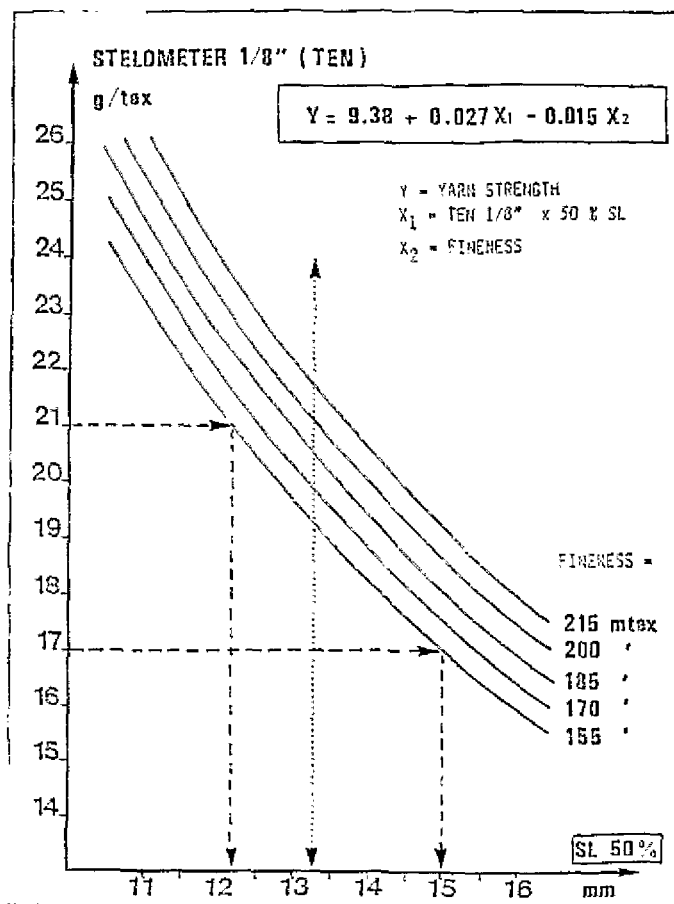


FIG. 4. — Fiber properties for a 14 cN/tex yarn strength.

RESUMEN

En un primer estudio que se llevó a cabo con 34 clases de algodón muy diferentes, a los cuales se les midieron las diferentes longitudes de expansión, se demostró claramente que después de la tenacidad a 1/8" de apertura la longitud de expansión al 50% tenía un efecto más significativo sobre la resistencia de un hilo sencillo.

Una segunda investigación se llevó a cabo con 1009 algodones que presentaban un amplio rango de propiedades de la fibra. Se hizo un análisis de la regresión múltiple de todo el grupo y también de tres subgrupos, sus correspondientes grupos de longitudes individuales (corte más

largo). Los resultados indicaron que de las ecuaciones derivadas, las regresiones más significativas fueron aquellas que se obtuvieron con las 1009 muestras. Demostraron también una mejor explicación de la resistencia del hilo que las ecuaciones obtenidas con los grupos de diferentes longitudes.

En este documento se muestran y explican las mejores y más simples ecuaciones de regresión que se encontraron en el curso de esta investigación.